NRDC
自然资源保护协会
NATURAL RESOURCES DEFENSE COUNCIL

报告

北京四环内骑行环境风险评估报告

2023 年 10 月

清华大学建筑学院龙瀛课题组
自然资源保护协会

清华大学建筑学院龙瀛课题组

清华大学龙瀛课题组由建筑学院长聘副教授 / 博导带领，以城市空间作为实验室，研究方向是城乡规划技术科学，研究兴趣是城市空间测度、机理认知与效能提升。龙瀛担任中国城市科学研究会理事，自然资源部科技创新团队首席专家，教育部虚拟教研室主任，清华大学生态规划与绿色建筑教育部重点实验室副主任，住房和城乡建设部智慧城市专业委员会委员，中国城市科学研究会城市大数据专业委员会副主任委员兼秘书长，中国城市规划学会城市规划新技术应用学术委员会副主任委员。曾获国家级青年人才项目、中国城市规划青年科技奖、全国优秀工程勘察设计金奖、国家级一流本科课程、华夏建设科学技术奖、北京市科学技术奖等，多年入选全球前 2% 顶尖科学家。

自然资源保护协会（NRDC）

自然资源保护协会（NRDC）是一家国际公益环保组织，成立于 1970 年。NRDC 拥有 700 多名员工，以科学、法律、政策方面的专家为主力。NRDC 自上个世纪九十年代中起在中国开展环保工作，中国项目现有成员 40 多名。NRDC 主要通过开展政策研究，介绍和展示最佳实践，以及提供专业支持等方式，促进中国的绿色发展、循环发展和低碳发展。NRDC 在北京市公安局注册并设立北京代表处，业务主管部门为国家林业和草原局。请访问网站了解更多详情 http://www.nrdc.cn/

课题编写人员：

龙　瀛　清华大学建筑学院　长聘副教授

吴其正　清华大学建筑学院　硕士研究生

苏南西　清华大学建筑学院　博士研究生

李　彦　清华大学建筑学院　助理研究员

目 录

前言

根据中国自行车运动协会数据，截至2022年，全国有1亿多人经常参与骑行，有近千万人积极参与自行车运动。同时，2022年中国电动自行车保有量已达3.5亿辆，电动自行车出行逐渐成为一部分人群主流的出行方式。如此大规模的传统自行车与新型电动自行车同时出行，大大增加了骑行环境的安全风险。2023年2月8日，北京市朝阳区人民法院召开了非机动车交通事故案件审理情况新闻通报会，并向社会发布了《非机动车交通事故案件审判白皮书（2021年度—2022年度）》。白皮书显示：2021年至2022年，北京市朝阳区人民法院共审理非机动车交通事故案件535件，收案量同比增长51%。在国家大力提倡绿色出行的背景下，安全的骑行环境尤为重要，因此研究团队对北京中心城区（四环内）的自行车骑行环境开展了安全性评估工作。

本期报告在自然资源保护协会(NRDC)与清华大学建筑学院龙瀛副教授的团队合作下，基于识别的12项风险因素评估了北京四环内2963.4km（图1）的骑行道路。希望本报告能够客观反映北京市在骑行环境建设方面的现状，为未来更安全的骑行环境建设提供参考。

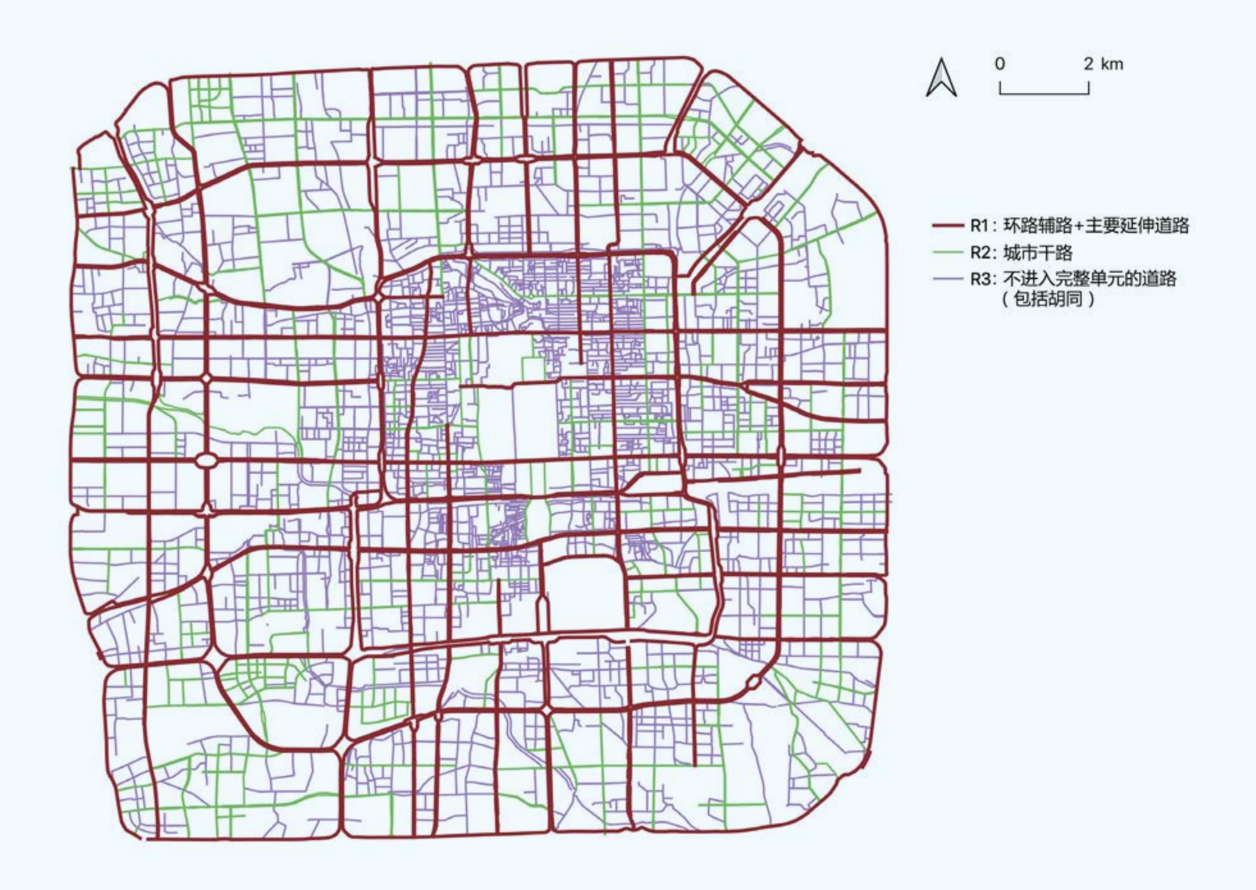


图 1：北京四环以内道路

1

第 1 章

北京自行车骑行环境现状与研究基础

首先，本章对比北京以及全球各大典型城市自行车骑行现状及城市管理的相关规定。在此基础上，针对近年来北京市公开的非机动车交通事故进行了梳理，通过溯源事故诱因，提炼出与北京自行车骑行密切相关的风险因素。进而明晰风险因素的概念，并确定本报告的研究对象。最后，介绍了本报告数据基础的构建方法与概况。

1.1 全球城市自行车骑行现状

目前全球多个城市均出现电动自行车和传统自行车并存的骑行现状。电动自行车保有量激增，全球各大典型城市均出现了各种类型的电动自行车（表1-1）。尽管各城市的电动自行车外型稍有差异，但基本上都是通过动力辅助装置来助力骑行，并且基本都设置了速度上限。

表1-1：各城市主流电动自行车特征					
城市	伦敦	温哥华	悉尼	墨西哥城	北京
电动自行车特征	电动自行车（Pedelec），包含踏板辅助装置，且仅在骑车人踩踏板时启用，一旦达到 25km/h就会停止	电动自行车（Pedelec），包含踏板辅助装置，且仅在骑车人踩踏板时启用，一旦达到32km/h就会停止	电动自行车（Pedelec），包含踏板辅助装置，且仅在骑车人踩踏板时启用，速度上限为25km/h+10%	包含踏板辅助动力装置的电动自行车，速度上限为32km/h	合法的电动自行车是指以车载电池为辅助能源、能够踏板骑行、具有电助力功能的两轮自行车

基于多用户并存的骑行环境，全球多个城市对传统自行车和电动自行车的出行提出了要求，包括速度限制、合法性、是否允许在自行车道上、是否要求佩戴头盔这四项（表1-2）。在传统自行车方面，仅墨西哥城与北京对佩戴头盔没有要求，其他指标均一致；在电动自行车方面，与其他城市类似，北京对电动自行车同样有限速要求，并且若在非机动车道上则为15km/h，相较其他城市而言区分更为细致。

表1-2：各城市传统自行车与电动自行车对比		
城市	速度限制/合法性/允许在自行车道上/需要头盔	
	传统自行车	电动自行车
伦敦	无速度限制/是/是/是	25 km/h/是/是/是
温哥华	无速度限制/是/是/是	32 km/h/是/是/是
悉尼	无速度限制/是/是/是	25+10% km/h/是/是/是
墨西哥城	无速度限制/是/是/否	32 km/h/是/否/否
北京	无速度限制/是/是/否	25 km/h（在非机动车道上为15km/h ）/是/是/是

综合全球多个城市目前对传统自行车和电动自行车的规范要求现状，可见在电动自行车日益流行的全球趋势下，如何在与传统自行车共存的情况下让电动自行车的安全性逐步提高，是一项越来越值得关注的全球性议题。

1.2 北京非机动车交通现状与风险因素

非机动车交通事故能够更真实地反映现实情形中威胁自行车骑行安全的风险因素。根据如下关键词："交通事故"、"北京市"、"自行车"、"电动自行车"、"2022 年"、"2023 年"、"一审法院认定事实"，全面搜集了 2022 至 2023 年公开的北京市交通事故判决案例，研究团队共筛选得到 86 条非机动车参与的案例。其中，66 条案例有电动自行车参与，20 条案例无电动自行车参与（图 1-1）。

通过梳理分析每个事故发生的具体原因，发现 9 条案例与"大型车辆的存在"直接相关，主要为重型货车与非机动车直接发生碰撞造成事故；2 条案例与"路边停车"直接相关，尤其是在开车门时易与非机动车发生碰撞；2 条案例与"非自行车的交通主体存在"直接相关；2 条案例与"逆行"直接相关；1 条案例与"自行车道被阻挡"直接相关。

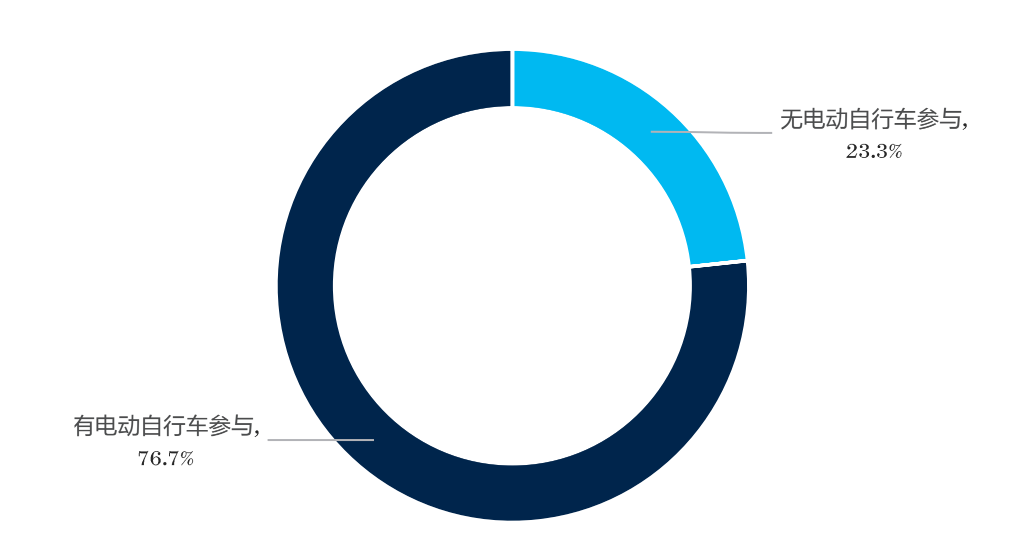


图 1-1：2022 至 2023 有非机动车参与的交通事故判决案件分类

此外，研究团队还基于 2020 年北京市五环内的微博文本数据进一步探究了群众反映的自行车出行安全相关的环境风险及现实问题。根据"自行车"、"电动自行车"以及各类具体风险因素等关键词进行搜索，发现微博用户的评论主要反映了路边停车、自行车道被阻挡、逆行、恶劣的路况、不戴头盔等风险因素。

通过如上两类信息渠道对自行车骑行安全风险因素的搜集归纳，可以发现北京市自行车骑行安全现状存在一定的安全隐患，然而受限于现有相关数据的可获得性与质量，使更加细致地检测问题并精准刻画北京市自行车骑行环境现况收到了阻碍。因此，确定具体的风险因素，并针对各类具体风险因素展开大范围精细化的测度评估亟待解决，以指导相关工程实施及政策优化。

1.3 研究范围与对象

本研究的研究范围为北京中心城区四环内，研究对象为北京四环内所有自行车道（含四环），包括胡同等其他无自行车道的路段。研究所采用的道路路网数据来自高德地图（图 1-2）。

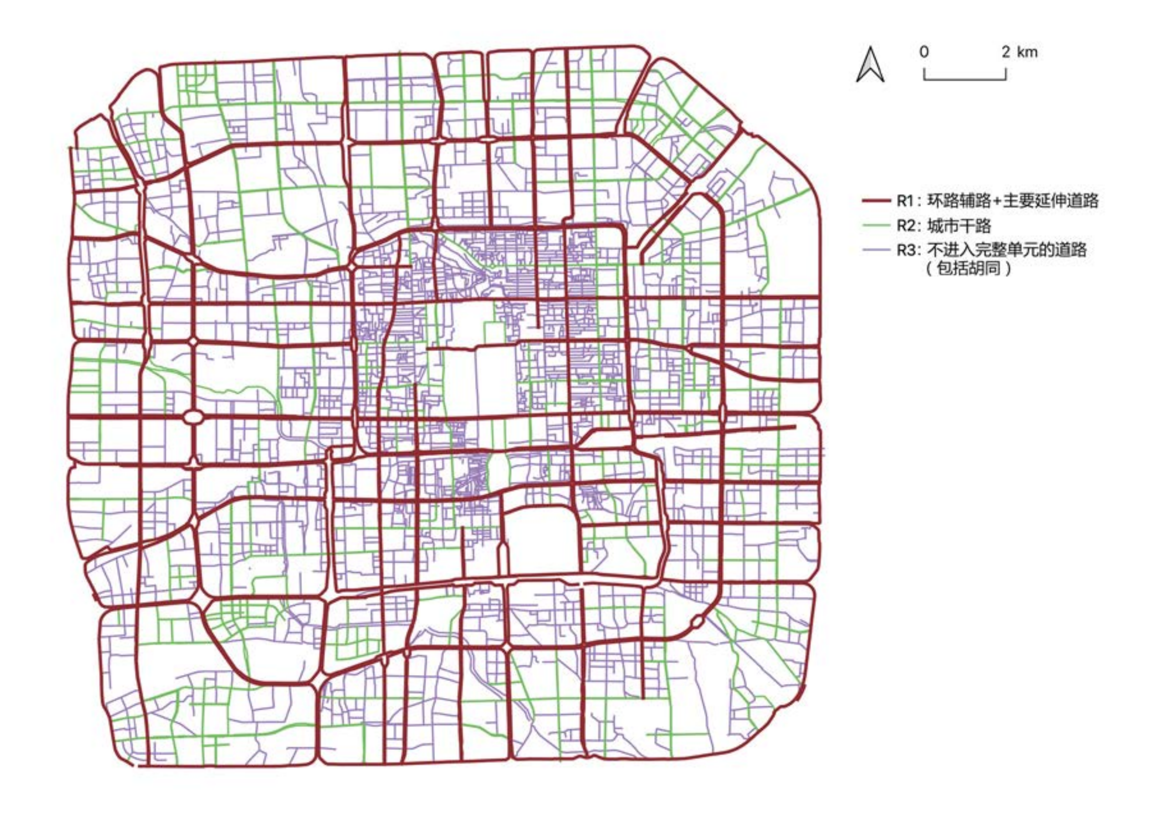


图 1-2：北京四环以内道路

1.4 风险因素概念界定

在对北京自行车骑行环境中各类风险因素建立大致认知的基础上，研究团队进一步界定了风险因素的概念。首先，将骑行环境中的所有要素划分为静态要素与动态要素两大类。静态要素包括自行车道相关的基础设施与绿化环境。其中，基础设施包括路灯、路面状况、公交车站、机非车道隔离设施等。动态要素包括交通参与者、可移动设施与天气状况。

在开展本研究前，研究团队针对更小尺度的建成环境及人为因素进行了探索和实验。其中，对于交通参与者的骑行危险行为，研究团队利用固定摄像头拍摄的视频数据，针对骑行者速度过快、急变速、逆向行驶、危险距离以及行人与非机动车数量等风险因素进行了基于深度学习的自动识别。此外，对于街区尺度，研究团队利用主动感知的方法，自主采集了以骑行者视角为中心的骑行环境视频数据，并初步建立了风险因素体系，包括道路宽度、道路裂缝、夜间灯光等。

为了更加综合地评估北京市四环内约 55.4 平方千米所有的骑行道路，在以往研究的基础上结合事故判例、微博数据所反映的真实情况，研究团队最终选取了基础设施、交通参与者、可移动设施这三类静态、动态要素作为本研究的风险因素（图 1-3）。

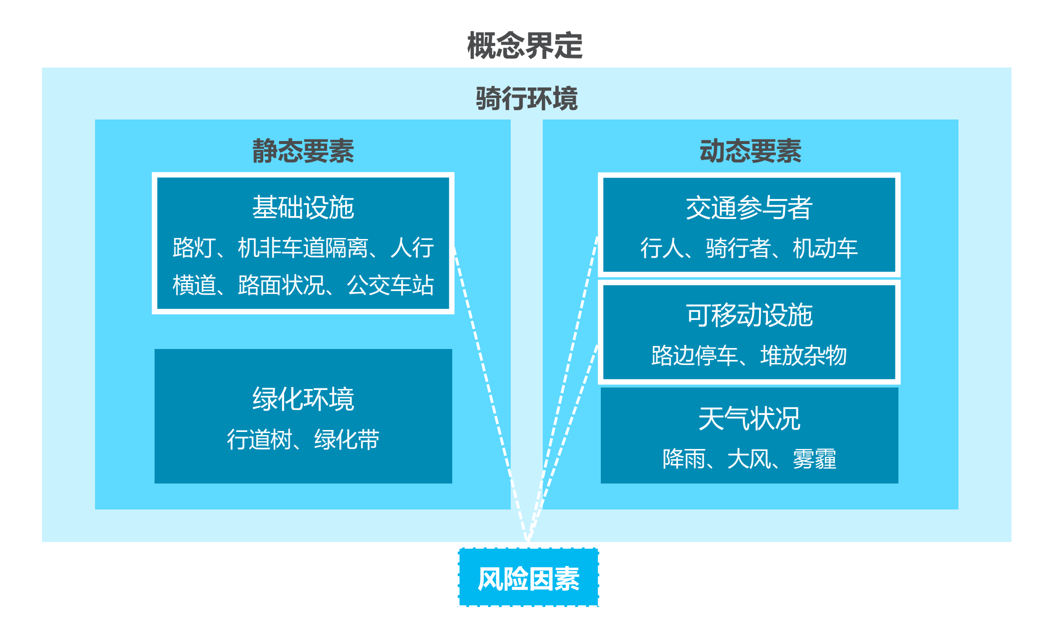


图 1-3：风险因素概念界定

1.5 数据采集方法

由于现有开放获取的道路街景图像均为机动车视角拍摄的，无法满足本研究对自行车道的分析需求，因而研究团队采用了移动感知的方法[1]构建数据基础，即研究人员在自行车道上骑行，通过录像设备模拟骑行者的第一视角来录制骑行视频，进一步通过计算机程序处理所得数据为后续分析提供基础。

在采集设备方面（图 1-4），研究团队采用 GoPro11 作为视频采集设备，并通过骑行支架固定于电动自行车车把上。除此之外，还通过手机支架将手机也固定于车把上，便于骑行时查看导航。采集人员在采集过程中全程佩戴头盔。

在采集方法方面，针对不同等级的道路，研究团队采取不同的采集策略以适应北京四环内多样的道路现况。同时根据道路类型确定采集方向是否需要双向采集，例如两车道及以上且规划有自行车道的道路需要双向采集，两车道且无自行车道的道路与其余更低等级道路均只需要单向采集，以避免重复采集环境相似的骑行视频而影响后续评估准确性。研究团队通过整理以上采集工作要点与注意事项，编制了采集工作手册以标准化采集流程，同时应对各类突发状况。

研究团队还将北京四环内的所有需采集道路按道路总长度与每天所能采集长度，分为 48 块采集单元（见附件 1）。在完成采集计划的制定后，由两位研究人员历时两个月完成了所有道路的采集。具体采集日程与对应的采集单元见附件 1。最终，共采集了 2629GB、103 小时的骑行视频，总骑行轨迹长度为 2963.4km。




图 1-4：实际采集工作照片

1　移动采集指的是在采集设备移动过程中获取数据的方法，如借助移动设备搭载运动相机、行车记录仪等

此外，在数据采集方面，除了上述移动感知方法，研究团队还在清华大学校园内尝试了固定感知方法获取数据，以探究骑行者风险骑行行为。针对校园内的重点区域，借助固定设置的监控摄像头数据对骑行者的骑行行为进行了补充分析，共获取到 24 个路口，约 60 个摄像头点位的 6 天的数据（图 1-5 所示）。

- 十字交叉路口



新民路三十号楼路口


新清华学堂路口



紫荆路口南照



李兆基科技南侧路

- 道路中段



美院通道


新民路六教

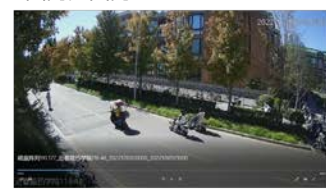

西南门西南



至善路三号楼


日新路能科楼


人文图书馆前


近春路药学院



西北门南侧路

图 1-5：固定摄像头拍摄数据分为十字交叉路口和道路中段

1.6 数据处理方法

在完成移动感知数据采集工作后，共获得了三类数据：GoPro 拍摄的视频、从 GoPro 视频提取的 GPS 轨迹，以及作为备份的手机记录的 GPS 轨迹。首先，检查 GPS 轨迹数据的完整性，以决定采用何种 GPS 轨迹进一步处理；其次，根据 GPS 轨迹中的线图层生成 20m 的定距点，并将 GPS 轨迹中的点图层与最近的 20m 定距点相连接，以确定所需图像的点位数据；最后，根据图像点位数据中的时间信息，在 GoPro 视频中截取对应图像（图 1-6 所示）。

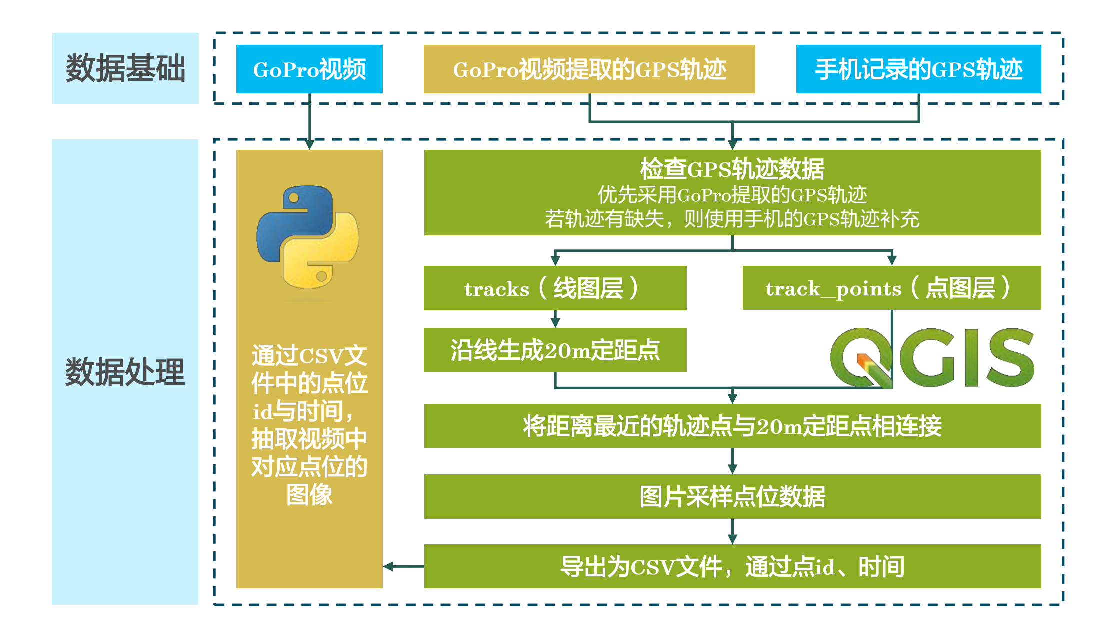


图 1-6：数据处理流程

在经过上述处理流程之后，共得到北京四环内20m 间距的自行车道图像 116107 张（图 1-7）。

北京四环内自行车道图像数据集

0 2 km

20m间距图像采样点

采集单元

5个点

共116107张图像

图 1-7：北京四环内自行车道图像数据集

2

第 2 章

骑行环境风险因素识别方法

本章介绍了自行车道风险因素体系的构建，以及如何为各个风险因素分配权重。在此基础上，通过构建图像识别模型，对所得到的所有图像进行风险因素自动识别，并针对每一类风险因素列举识别到的所有情况。

2.1 风险因素体系构建

考虑到本研究针对北京四环内所有城市道路，覆盖范围大、涉及要素多、骑行场景复杂，已有研究的风险要素体系无法完全满足本研究的需要。因此亟需围绕本次骑行环境风险因素评价构建新的风险因素体系。

通过自行车风险相关文献综述以及与参与“通往健康和公平城市之路”项目的专家进行一系列讨论，并从中国社交媒体平台微博和中国法院判例记录中获得自行车事故信息作为补充，综合上述工作基础，研究团队构建了一套包含 12 类要素的自行车骑行环境风险因素体系。其中静态要素共 6 个，分别为：自行车道种类、自行车道宽度、公交车站的存在、出入口的存在、恶劣的路况、人行道与自行车道无高差；动态要素共 6 个，分别为：路边停车、自行车道被阻挡、大型车辆的存在、非自行车的交通主体存在、逆行、不戴头盔。具体指标对应含义见表 2-1。

表 2-1：自行车骑行环境风险因素体系

编号	类型	风险因素	含义
1	静态要素	自行车道种类	与机动车道完全分离的自行车道
			用护栏与机动车道分离的自行车道
			用涂装与机动车道分离的自行车道
			无专门的自行车道
2		自行车道宽度	自行车道宽度小于1.5m
3		公交车站的存在	存在于自行车道上的非港湾式公交车站
4		出入口的存在	停车场和建筑物入口
5		恶劣的路况	自行车道上的积水、坑洼、裂缝
6		人行道与自行车道无高差	人行道与自行车道高度相同
7	动态要素	路边停车	路边停放的车辆
8		自行车道被阻挡	阻塞自行车道的建筑设施和非机动车
9		大型车辆的存在	自行车道或邻近道路上存在的大型车辆
10		非自行车的交通主体存在	出现在自行车道上的行人、宠物等
11		逆行	逆行的骑行者
12		不戴头盔	不戴头盔的骑行者

2.2 风险因素权重

为了给每个风险因素确定对应的百分比权重，以便于后续风险指数的计算。研究团队采用“德尔菲法专家问卷”的方式，德尔菲法也称为专家调查法，是一种采取通讯方式分别将所需解决的问题单独发送到各个专家手中，征询意见，然后回收汇总全部专家的意见，并整理出综合意见。随后将该综合意见和预测问题再分别反馈给专家，再次征询意见，各专家依据综合意见修改自己原有的意见，然后再汇总。这样多次反复，逐步取得比较一致的预测结果的决策方法。研究团队共邀请 26 位行业专家进行了 2 轮打分。针对每个风险因素的危险

程度，每位专家都进行 0-100 打分。最后，收集汇总所有专家的打分结果，求取每个风险因素的危险程度均值并转换到百分比格式，以形成每个风险因素的风险权重（表 2-2）。

<table>
<tr><th colspan="5">表 2-2：自行车骑行环境风险因素权重</th></tr>
<tr><th>编号</th><th>类型</th><th>风险因素</th><th colspan="2">权重（%）</th></tr>
<tr><td rowspan="4">1</td><td rowspan="9">静态要素</td><td rowspan="4">自行车道种类</td><td rowspan="4">10.2</td><td>24.9</td></tr>
<tr><td>37.3</td></tr>
<tr><td>65.1</td></tr>
<tr><td>100.0</td></tr>
<tr><td>2</td><td>自行车道宽度</td><td colspan="2">9.9</td></tr>
<tr><td>3</td><td>公交车站的存在</td><td colspan="2">9.1</td></tr>
<tr><td>4</td><td>出入口的存在</td><td colspan="2">7.1</td></tr>
<tr><td>5</td><td>恶劣的路况</td><td colspan="2">6.2</td></tr>
<tr><td>6</td><td>人行道与自行车道无高差</td><td colspan="2">5.0</td></tr>
<tr><td>7</td><td rowspan="6">动态要素</td><td>路边停车</td><td colspan="2">9.5</td></tr>
<tr><td>8</td><td>自行车道被阻挡</td><td colspan="2">9.5</td></tr>
<tr><td>9</td><td>大型车辆的存在</td><td colspan="2">10.8</td></tr>
<tr><td>10</td><td>非自行车的交通主体存在</td><td colspan="2">6.8</td></tr>
<tr><td>11</td><td>逆行</td><td colspan="2">8.5</td></tr>
<tr><td>12</td><td>不戴头盔</td><td colspan="2">7.5</td></tr>
</table>

其中，针对自行车道种类，由于共有固定隔离带、移动隔离带、自行车道划线与无自行车道这 4 种类型，因此需要对每一类自行车道分别确定权重。需要说明的是，这四类自行车道中，无自行车道的风险程度最高，则以其权重作为基准，其余类型的自行车道按比例计算风险权重。结果如图 2-1 所示：

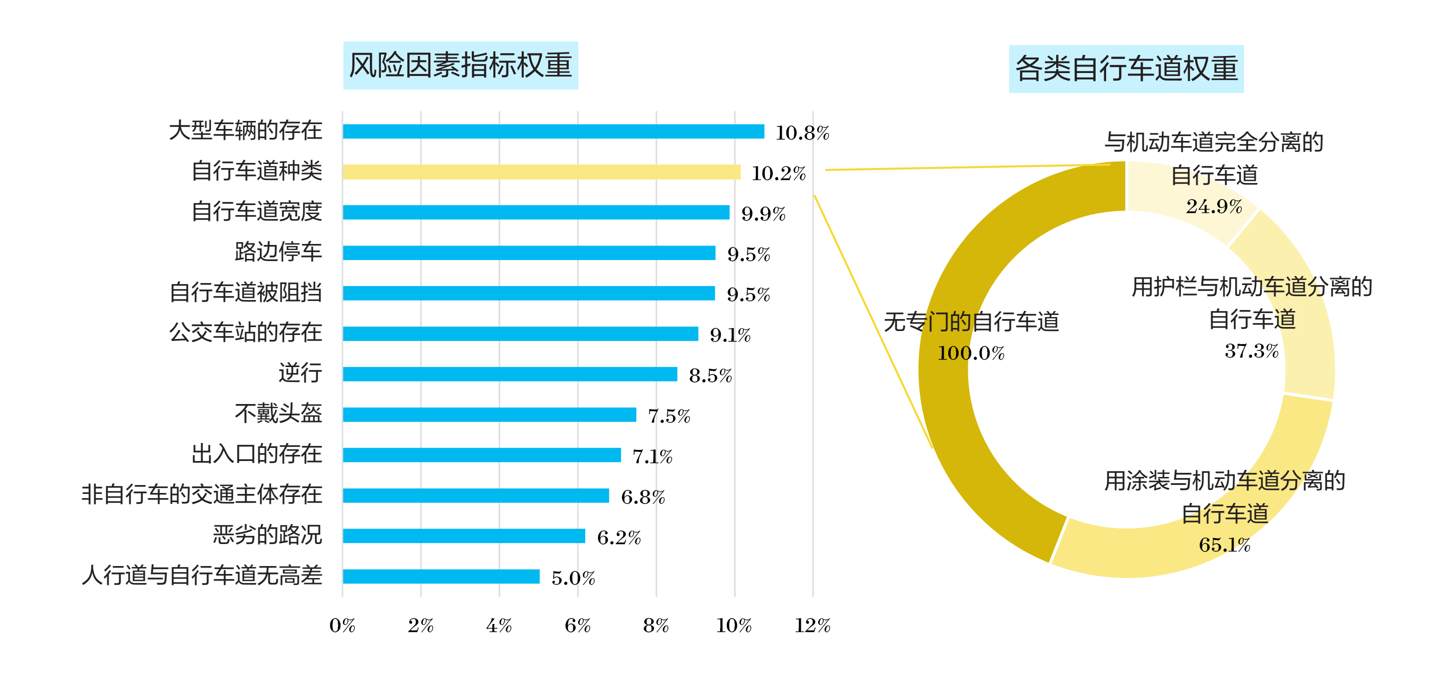


图 2-1：自行车骑行环境风险因素权重与各类自行车道权重

在确定了各类风险因素权重的基础上，即可根据如下公式计算风险指数：风险指数 =Σ（风险指标数值 / 该指标最大值 * 对应权重）

2.3 风险因素测度模型构建

针对 12 类风险因素，需要根据其动态静态属性分别搭建专门的检测模型（见附件 2）进行识别。具体而言，需要让计算机能够从图片中框选出指定的目标要素。为达到该目的，还需对计算机模型进行训练，告知它们何为“路边停车”“恶劣的路况”等。

通过选取包含特定风险因素的图片来训练模型，逐步提高模型识别的准确率，最终将其提高到 85% 左右。各风险因素的模型准确率见附件 2。需要说明的是，自行车道宽度采用另一套算法单独计算 [2]。

在使用模型识别完所有图片后，研究团队还人工检查了所有图片结果，以保证最终识别结果的可靠性。

2.4 模型识别结果分类方法

根据模型识别的结果，研究团队希望进一步探究每一类风险因素都包含哪些具体情况，因而采用层次聚类法根据识别结果的相似性对每一类风险因素的识别结果进行进一步分类。通过模型识别结果聚类，一方面可以对不同的类别进行管控，如不同类型的大型车辆、不同颜色的电动自行车骑行者、阻挡自行车道物品；另一方面进一步理解风险等级，例如固定隔离带中停放自行车、公交车站等可通行的隔离设施，以及沉降程度不同的路面。

3

第 3 章

北京四环内骑行环境风险因素识别结果

本章基于模型识别的结果，首先展示了各类骑行行为；其次针对每一类风险因素在北京四环内的严重程度分布进行可视化，并计算综合风险指数并在道路尺度进行呈现；最后，通过聚类方法展现了各风险因素的所有情况。

3.1 各类骑行行为

针对不同的骑行交通工具和骑行行为，研究团队对其进行了描述性统计。在骑行交通工具方面，北京四环内骑电动车的人数占比最高，达 62.9%；其次是骑自行车的人，占比 29.2%；骑三轮车的人数占比最低，为 7.9%。详见图 3-1。在骑行行为方面，所有骑行者中 97.9% 的骑行者都未佩戴头盔; 4.1% 的骑行者逆向行驶; 0.1% 的骑行者在人行道上骑行。详见图 3-2。

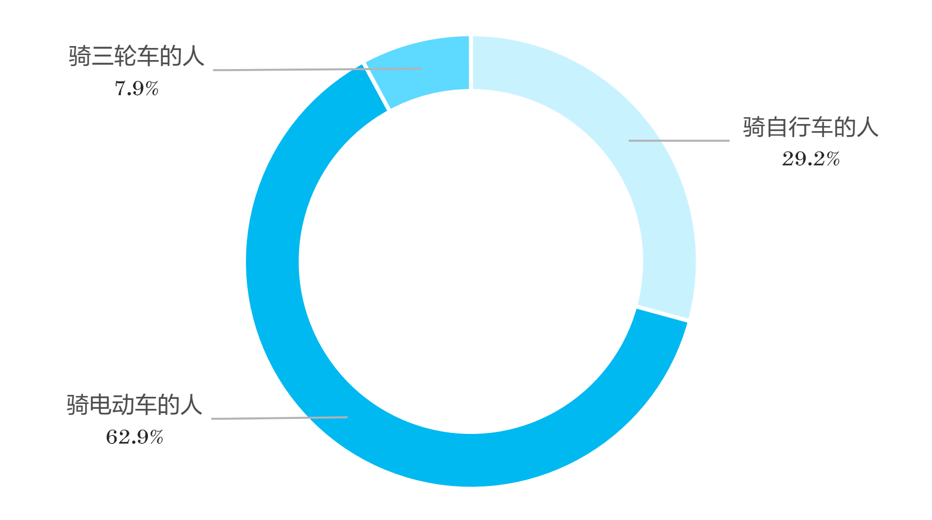


图 3-1：各类骑行交通工具占比

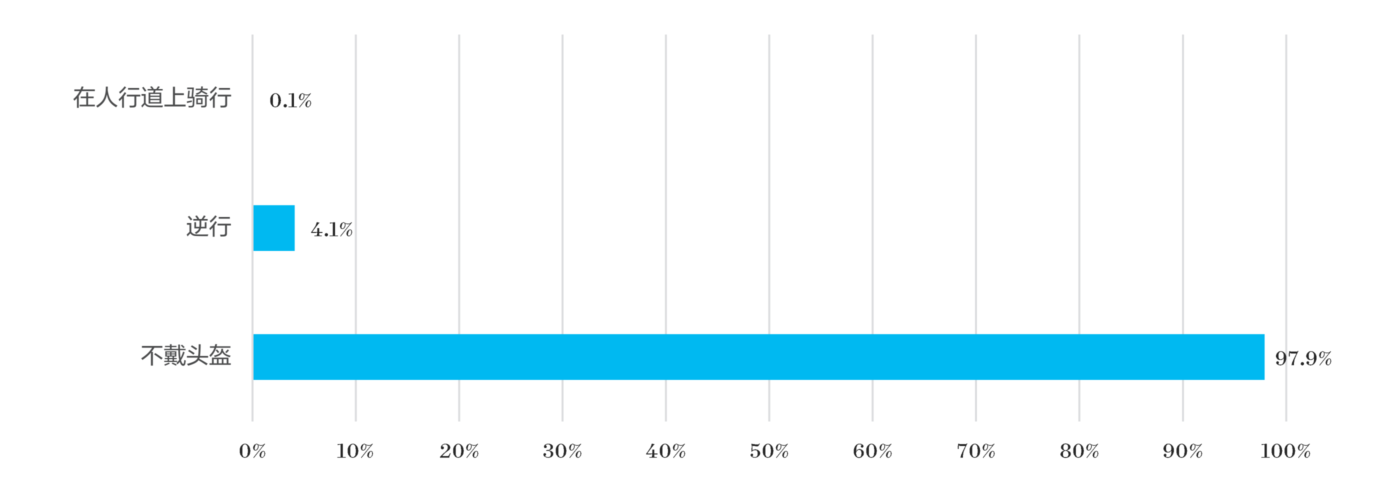


图 3-2：三类骑行行为在所有骑行者中的占比

3.2 自行车道类型

针对不同的自行车道类型，研究团队对北京四环内所有自行车道进行了可视化呈现（图 3-3）。经统计，如图 3-4 所示，无自行车道的道路长度最长，占比 37.4%；其次为自行车道划线的道路，长度占比 35.6%；采用固定隔离带的自行车道长度占比 18.0%；采用移动隔离带的自行车道长度占比最低，为 9.0%。

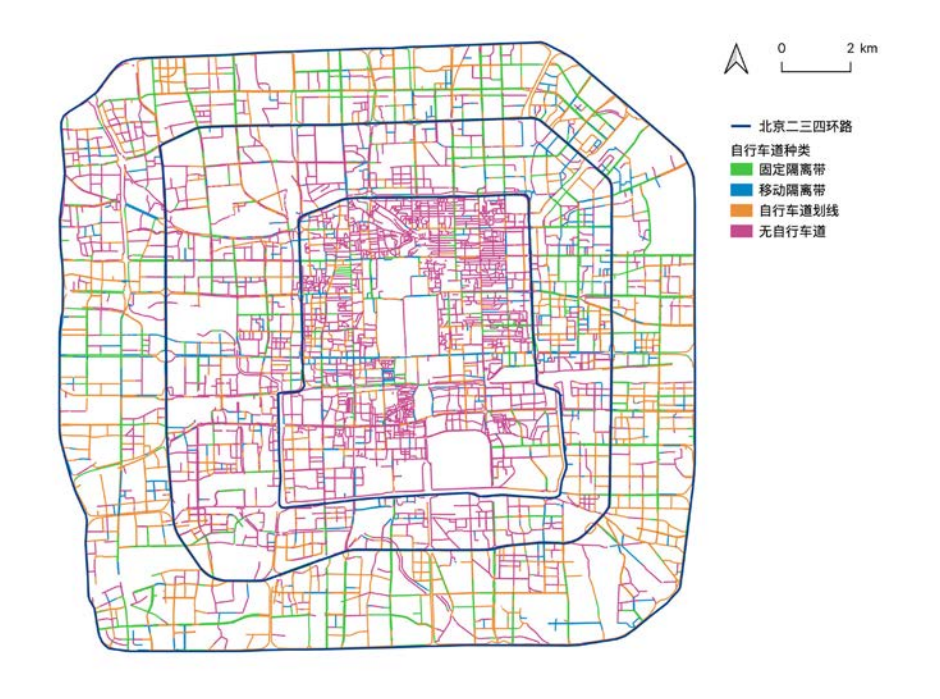


图 3-3：自行车道类型

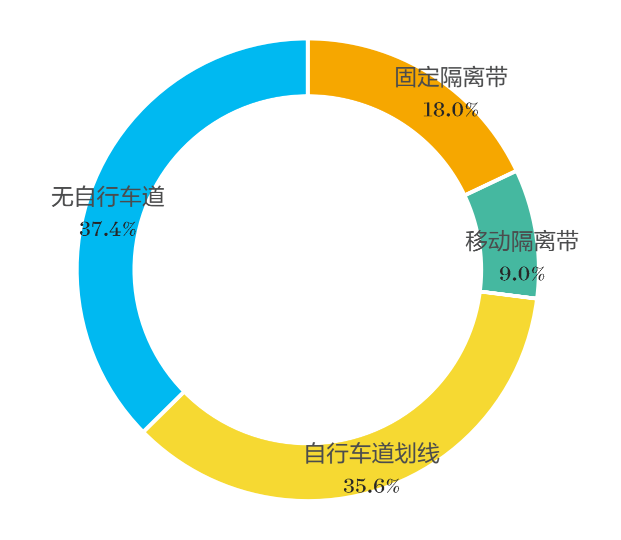


图 3-4：各类自行车道长度占比

3.3 其他风险因素分布

针对其他各类风险因素，统计每公里该风险因素存在的数量，并用橘色渐变色带进行可视化，颜色越深说明每公里该风险因素出现的次数越多。具体情况见图 3-5 至图 3-12。

3.3.1 大型车辆的存在（权重 10.8%）

“大型车辆的存在”即自行车道或邻近道路上存在大型车辆，其分布情况如图 3-5 所示。重点分布路段包括三四环间的 G6 辅路、京密路、西直门外大街辅路、紫竹院路辅路、莲花池东路辅路和十里河西街等路段。在该风险因素较严重的区域，需重点关注大型车辆的行驶与停放行为，避免占用自行车道，以防给途经大型车辆周围的骑行者造成安全隐患。



图 3-5：大型车辆的存在

3.3.2 路边停车（权重 9.5%）

“路边停车”即路边停放机动车，其分布情况如图 3-6 所示。整体分布情况在北京四环内呈现出东北区域停车密度大于西南区域。个别区域如北四环西路附近的世纪城停车密度也较高。在该风险因素较严重的区域，需重点关注违章路边停车与临时停车现象，避免占用自行车道，尤其需要注意机动车上下客时，车门与骑行者的碰撞风险。

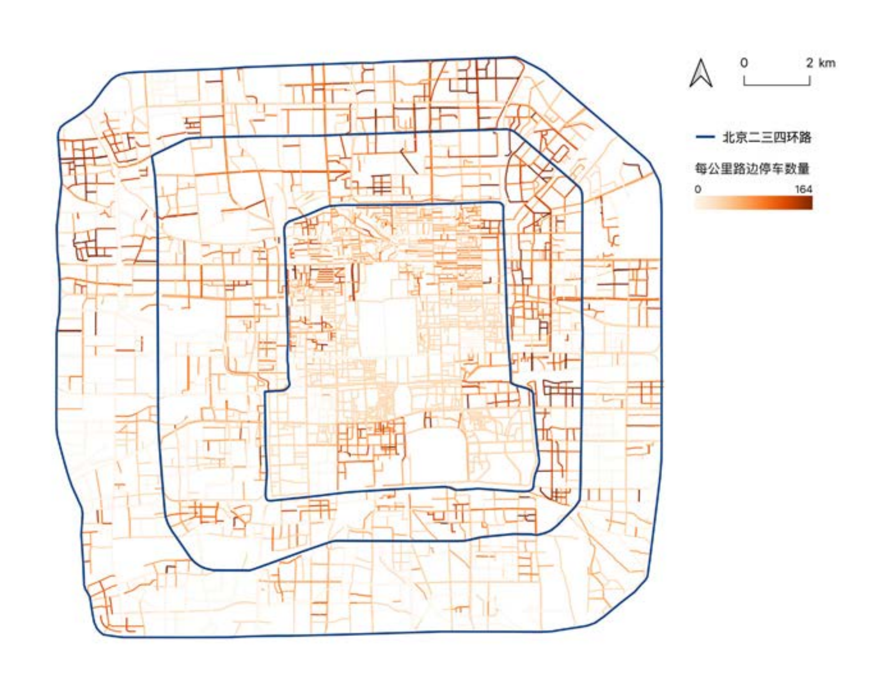


图 3-6：路边停车

3.3.3 自行车道被阻挡（权重 9.5%）

“自行车道被阻挡”即阻塞自行车道的建筑设施和非机动车等其他设施，包括指示牌、圆形路墩、废弃物品、私人物品等。其分布情况如图 3-7 所示，主要分布在二环内的胡同中。在该风险因素较严重的区域，需重点关注自行车道被物品阻挡而导致的通行能力下降等问题，以及对骑行者造成的摔倒风险。

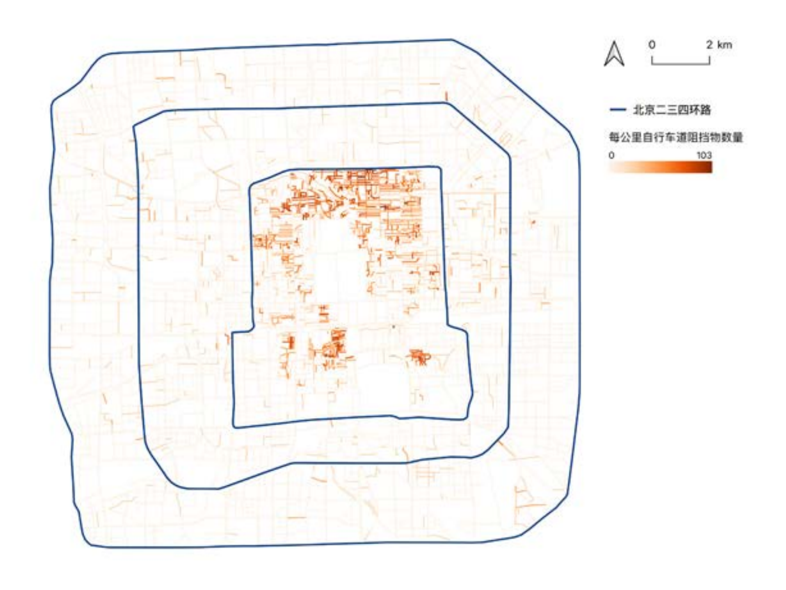


图 3-7：自行车道被阻挡

3.3.4 公交车站的存在（权重 9.1%）

“公交车站的存在”即存在于自行车道上的非港湾式公交车站。其分布情况如图 3-8 所示，主要分布于四环内的各条主要城市道路，整体分布区域较均匀。在该风险因素较严重的路段，需重点关注公交车进出公交车站时与骑行者行驶轨迹的重叠交叉，避免发生碰撞事故。

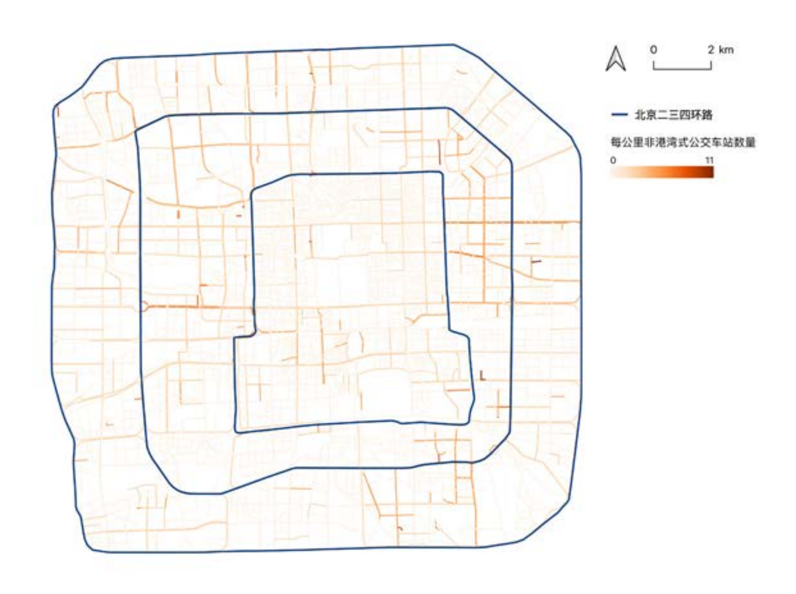


图 3-8：公交车站的存在

3.3.5 出入口的存在（权重 7.1%）

“出入口的存在”即存在于自行车道旁的停车场和建筑物出入口。其分布情况如图 3-9 所示，整体分布区域较均匀，仅北三环中路与北四环中路之间的区域较其他区域分布密度更高。在该风险因素较严重的路段，需重点关注机动车进出出入口时与途经的骑行者可能的碰撞风险，在必要区域宜设置减速带、反光镜等设施提高安全水平。

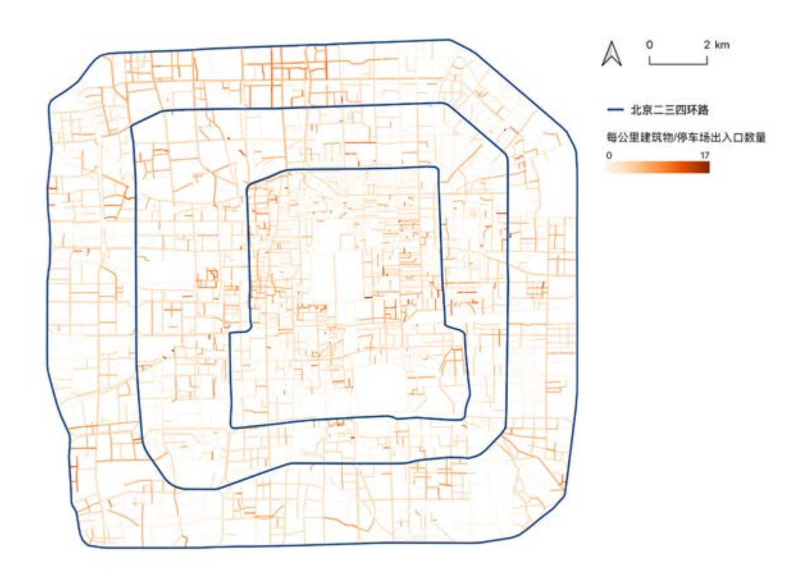


图 3-9：出入口的存在

3.3.6 非自行车的交通主体存在（权重 6.8%）

“非自行车的交通主体存在”即出现机动车、行人、宠物等非自行车的交通主体不当地进入自行车道、侵占了骑行者路权的情况。其分布情况如图 3-10 所示，除了二环内的分布密度较高，二三环之间与三四环之间的分布较均匀。在该风险因素较严重的路段，需重点关注机动车、行人、宠物等非自行车的交通主体与骑行者可能的碰撞风险。同时也可结合该风险因素的分布情况，检查对应路段是否由于人行道通行能力差而导致行人走到自行车道上的现象。

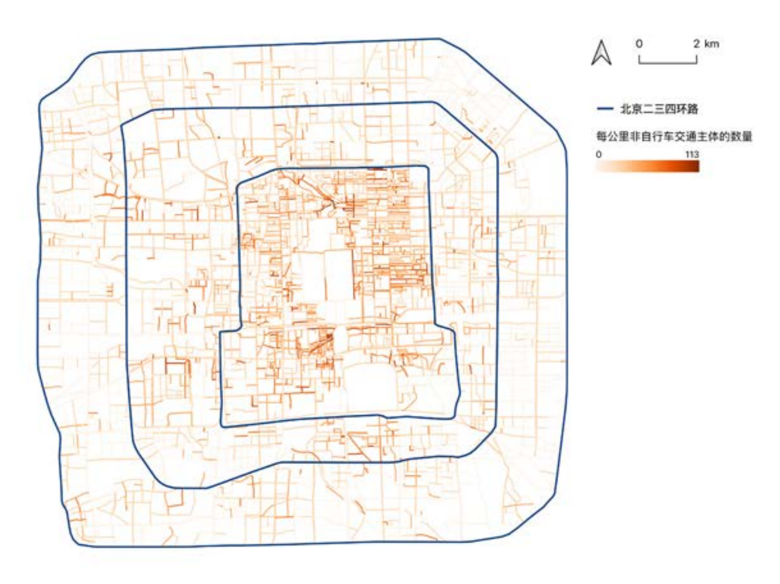


图 3-10：非自行车的交通主体存在

3.3.7 恶劣的路况（权重 6.2%）

“恶劣的路况”即自行车道上的积水、坑洼、裂缝等。其分布情况如图 3-11 所示，主要分布在二环内的西北区域。在该风险因素较严重的路段，需重点关注路面平整度的改善，以提高骑行通行的平稳性，降低因道路状况而导致潜在的骑行危险。

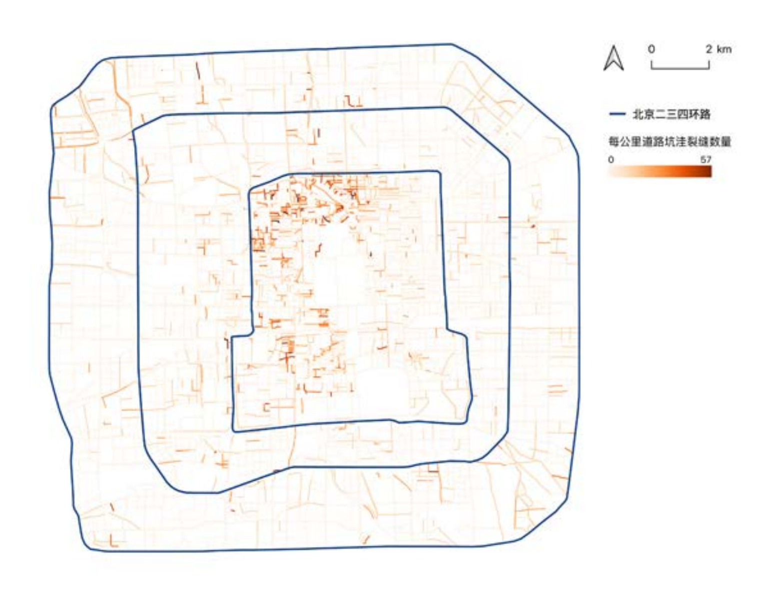


图 3-11：恶劣的路况

3.3.8 人行道与自行车道无高差（权重 5.0%）

“人行道与自行车道无高差”即人行道与自行车道高度相同，容易导致行人和骑行者相互干扰的情况。其分布情况如图 3-12 所示，整体分布情况较为分散，二环内该风险因素出现的频率较高；此外人民大学北路的情况最为严重。在该风险因素较严重的路段，需重点关注人行道与自行车道的划分，可通过路面铺装、路障三角锥等设施加以区分。

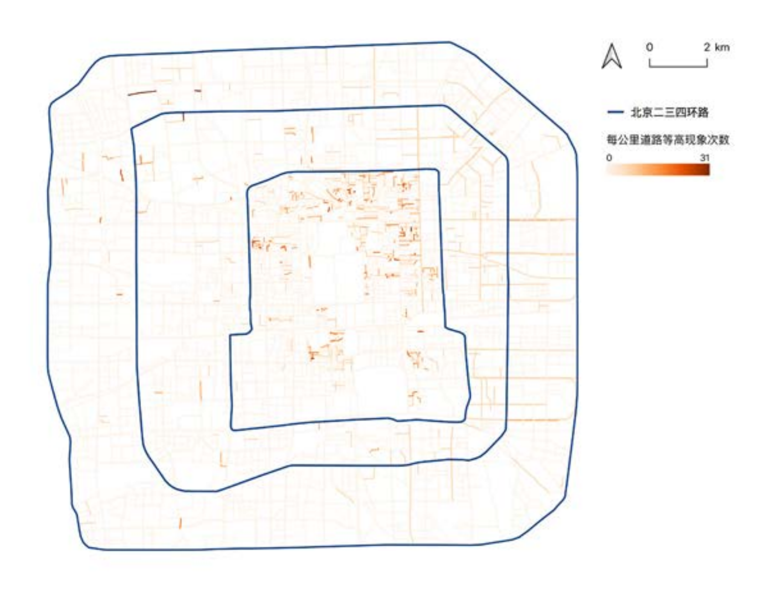


图 3-12：人行道与自行车道无高差

3.4 自行车道风险指数

基于已确定的各风险因素权重，通过归一化公式计算每条道路的风险指数。在可视化方面，使用 QGIS，以“等数量（分位数）”方式将其分为四类，尽量保证每一类中的道路数量相等。具体数值分段为：0.24 - 0.41，高风险道路；0.21 - 0.24，较高风险道路；0.09 - 0.21，较低风险道路；0 - 0.09，低风险道路。棕色代表高风险，绿色代表低风险。具体分布情况见图 3-13。此外，研究团队还计算了这四类风险等级道路的长度占比，如图 3-14 所示。

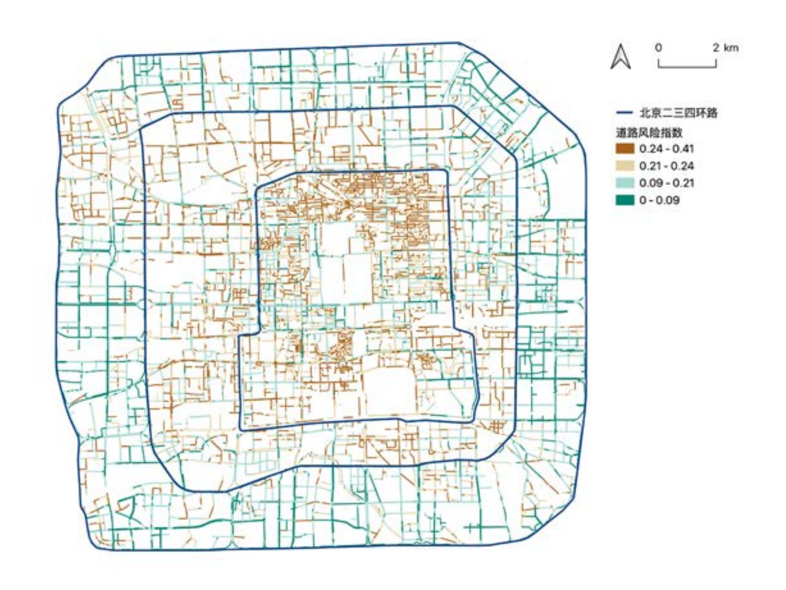


图 3-13：自行车道风险指数

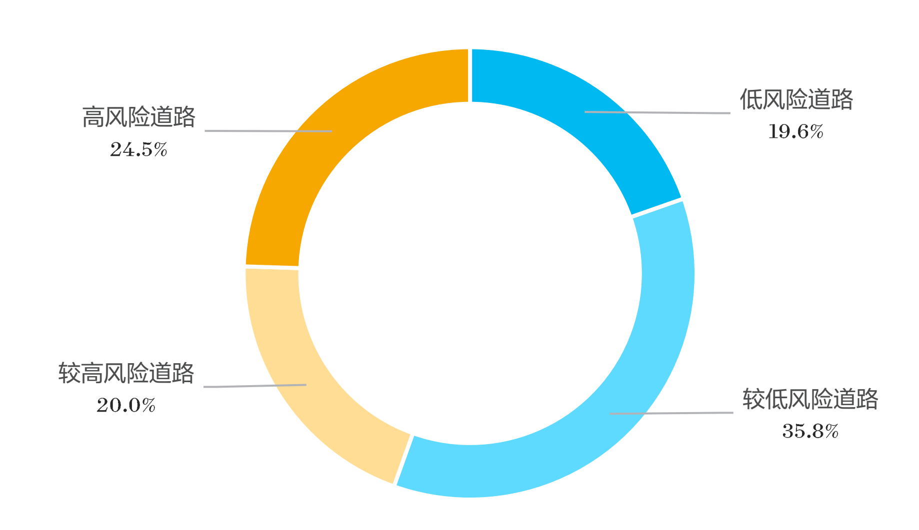


图 3-14：各风险等级自行车道长度占比

3.5 各风险因素识别结果统计

针对 12 类风险因素，在道路尺度分别统计其最小值、最大值、均值与标准差。结果如表 3-1 所示。可发现，路边停车、非自行车的交通主体存在、不戴头盔三类风险因素最为普遍，每公里出现次数均值大于 10；自行车道被阻挡的出现频率较高，每公里出现次数均值为 7.3；出入口的存在、恶劣的路况、大型车辆的存在、逆行这四类风险因素出现频率较低，每公里出现次数均值在 1-3 之间；公交车站的存在、人行道与自行车道无高差两类风险因素出现频率最低，每公里出现次数均值小于等于 1。

表 3-1：各风险因素模型识别结果统计

编号	类型	风险因素	单位	最小值	最大值	均值	标准差
1	静态要素	自行车道种类	0-3	0	3.0	0.7	1.9
2		自行车道宽度	米	0	7.0	1.9	1.2
3		公交车站的存在	每公里数量	0	11.0	0.5	2.8
4		出入口的存在	每公里数量	0	17.0	1.9	5.9
5		恶劣的路况	每公里数量	0	57.0	2.3	9.0
6		人行道与自行车道无高差	每公里数量	0	31.0	1.0	4.8
7	动态要素	路边停车	每公里数量	0	164.0	28.2	45.4
8		自行车道被阻挡	每公里数量	0	103.0	7.3	19.3
9		大型车辆的存在	每公里数量	0	33.0	1.8	6.8
10		非自行车的交通主体存在	每公里数量	0	113.0	13.7	22.8
11		逆行	每公里数量	0	100.0	1.6	6.3
12		不戴头盔	每公里数量	0	275.0	34.4	33.2

3.6 模型识别结果聚类

为具体展现每一类风险因素的各种实际情况，采用前文所提及的层次聚类法对各风险因素的模型识别情况一一展现，以更直观地反映每一类风险因素的真实情形。聚类结果见表 3-2。

表 3-2：风险因素模型聚类结果				
类型	风险因素		图片样例	类别
静态要素	自行车道种类	与机动车道完全分离的自行车道 （10类）		隔离自行车道和机动车道的可以移动的基础设施,包括灌木绿化带、带栏杆的绿化带、沙土绿化带、围栏、停靠自行车的人行道、白色栏杆、绿色栏杆、公交车候车区、行人通道
		用护栏与机动车道分离的自行车道 （10类）		隔离自行车道和机动车道的可以移动的基础设施，如栏杆、隔离杆、三角锥等
		用涂装与机动车道分离的自行车道 （2类）		以白色划线隔离机动车道和自行车道
	公交车站的存在	存在于自行车道上的非港湾式公交车站 （5类）		4种类型的公交车站牌和公交车站候车区
	出入口的存在	停车场和建筑物入口 (12类）		伸缩电动门、栅栏式道闸、直杆道闸、停车场标识、铁门等有机动车驶出的小区、停车场、办公场所入口
	恶劣的路况	自行车道上的积水、坑洼、裂缝 （7类）		路面破损、纵向裂缝、网状裂缝、横向裂缝、坑洼、积水、井盖不平
	人行道与自行车道无高差	人行道与自行车道高度相同 （2类）		人行道与自行车道之间无隔离和有隔离杆

类型	风险因素		图片样例	类别
动态要素	路边停车	路边停放的车辆 （8类）		平行、斜向、垂直停在路边的不同车型、顺向或逆向停放的机动车
	自行车道被阻挡	阻塞自行车道的建筑设施和非机动车 （8类）		占用自行车道上的物体，如执法车辆、电动车自行车、快递三轮车、自有自行车、共享单车、私人物品、围栏、废弃物品、圆形路墩、指示牌等
	大型车辆的存在	自行车道或邻近道路上存在的大型车辆 （8类）		卡车、市政车辆、公交车、货车、房车等
	非自行车的交通主体存在	出现在自行车道上的行人、宠物等 （5类）		行人、宠物、推轮椅的人、推行李的行人等在自行车道
	逆行	逆行的骑行者 （6类）		逆向行驶的电动车、三轮车和自行车
	不戴头盔	不戴头盔的骑行者 （9类）		佩戴不同颜色头盔的自行车、电动自行车、三轮车骑行者

3.7 风险骑行行为初探

基于固定的监控摄像头，在重点区域识别到的风险行为包括：（1）速度过快；（2）急变速：分析速度变化情况，加速度；（3）逆向行驶（占道骑行）：占用对面车道或机动车道；（4）危险碰撞：与其他行人距离过近。

逆向行驶且占道



逆向行驶且占道

逆向行驶



逆向行驶，可能超速

图 3-15：风险骑行行为示例

4

第 4 章

北京骑行环境建设现状与政策建议

本章通过系统梳理近年来北京市慢行交通相关政策与建设案例，形成对北京骑行环境建设现状的具体认知。针对本研究关注的风险因素，我们在实际的工程案例中也找到了相应的改造优化等工作基础。最后，针对北京骑行环境建设现状从本研究角度形成若干政策建议。

4.1 北京市慢行交通相关政策

通过广泛搜集近年来北京市在慢行交通方面出台的相关政策，研究团队发现除了每年定期发布《北京市城市慢行交通品质提升行动工作方案》以外，自 2018 年起北京市已陆续发布侧重点多样的慢行交通政策（表 4-1）。例如，为规范道路停车位设置，保障慢行优先，于 2020 年发布《关于保障慢行优先规范道路停车位设置条件的通知》；针对慢性交通设施改善，市交通委与市交管局于 2020 年联合印发《北京市步行和自行车交通设施改善技术指南》；结合城市河湖滨水景观营造，市水务局于 2021 年出台《北京市城市河湖滨水慢行系统规划》。[3]

表 4-1：北京市慢行交通相关政策
• 每年《北京市城市慢行交通品质提升行动工作方案》
• 2021 年《北京市慢行系统规划（2020 年 -2035 年）》
• 2021 年《北京市“十四五”时期慢行系统品质提升规划》
• 2021 年《城市道路非机动车道交通组织设计指南》
• 2021 年《北京市城市河湖滨水慢行系统规划》
• 2020 年《北京市步行和自行车交通设施改善技术指南》
• 2020 年《关于保障慢行优先规范道路停车位设置条件的通知》
• 2020 年《慢行交通服务评价考核体系》
• 2018 年《北京市步行和自行车交通环境设计建设指导性图集》

除此之外，市交通委还于 2022 年 5 月正式发布了《北京市“十四五”时期慢行系统品质提升规划》，提出“到 2025 年，中心城区绿色出行比例力争达到 76.5%，城市副中心绿色出行比例达到 80%”的阶段性目标。在十四五规划的指导下，《2023 年北京市城市慢行系统品质提升行动工作方案》提出：到 2023 年底，中心城区绿色出行比例达到 74.7%，市民 45 分钟以内通勤出行占比达到 54%，全市轨道车站出入口换乘距离小于 50 米的公交站点占比达到 86%，中心城区公共交通占机动化出行比例达到 52.9%，小客车车均出行强度力争下降到 26.5 公里，集中建设区道路网密度达到 5.45 公里 / 平方公里，高峰时段平均道路交通指数控制在 5.6 左右，全市道路交通死亡事故稳步下降，确保城市交通运行安全、平稳、有序。[4]

4.2 与风险因素对应的具体案例分析

4.2.1 二环路慢行系统优化提升工程

时间：2021 年

地点：北京二环路

举措：

1） 南二环辅路存在部分逆向非机动车道，在主辅路的出入口易与机动车产生交叉，因此在非机动车道与机动车道间安装了橘色的柔性隔离柱；[5]



图 4-1：新增柔性隔离柱 @ 记摄人间

2） 对路幅宽度 12 米以上道路非机动车道宽度不足路段进行综合整治，保障其通行宽度达 2.5 米以上。通过压缩机动车道宽度、局部消减机动车道数量等措施，最大限度增加非机动车通行空间。改造后，二环路的非机动车道宽度能从 2 米左右普遍提升至 3 米以上，最宽处可达 3.6 米；[6]

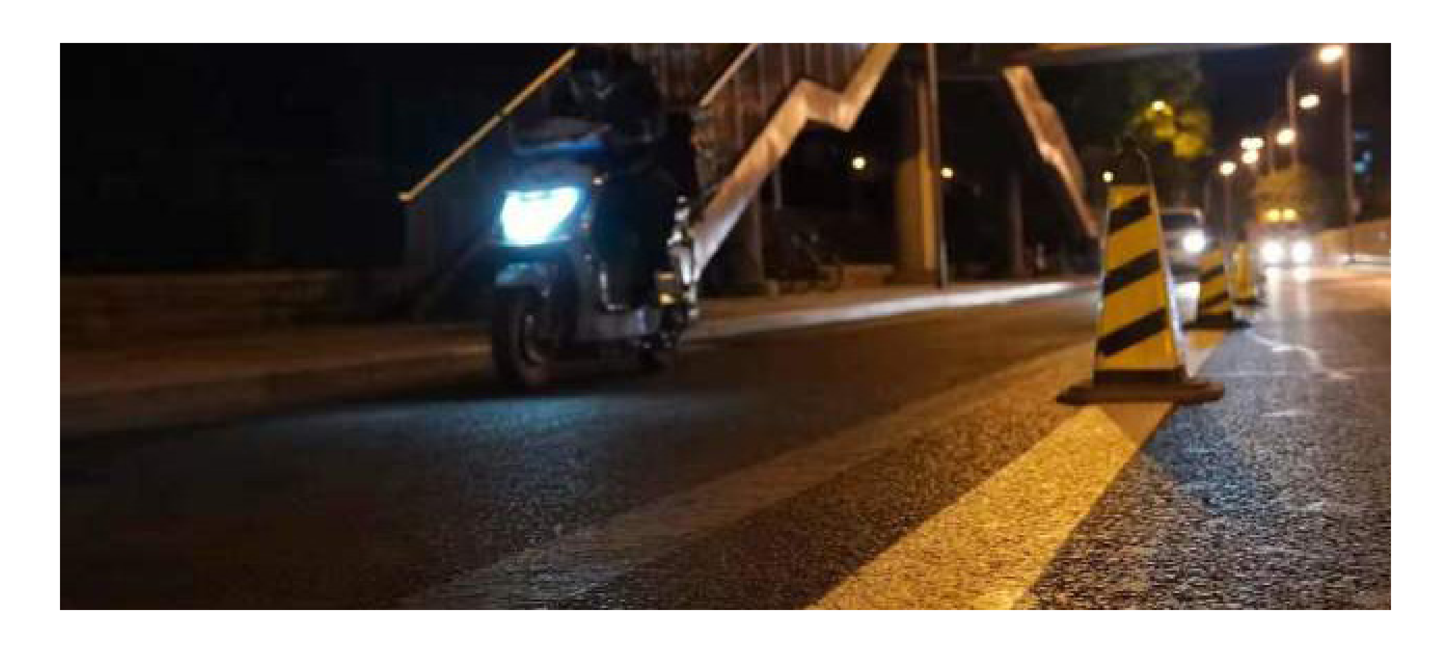


图 4-2：重新施划的机非车道分界线 @ 新京报

3） 通过拓宽非机动车道路，同时促进港湾式公交车站的建设，避免非机动车与公交车争夺空间。北二环德胜门公交车站、西二环复兴门桥以南等多个区域，公交车进出港湾，相比过去也更加游刃有余。[7]



图 4-3：骑行者路过“拓宽”后的德胜门公交车港湾处 @ 北京日报

4.2.2 交通文明示范路口创建专项行动 [8]

时间：2021 年 8 月

地点：五道口路口

举措：

1）在五道口路口增设东向西方向非机动车信号灯，实现东西非机动车一次左转；

2）拓宽非机动车道，为左转自行车创造独立的等候空间。



图 4-4：五道口路口增设非机动车左转专用信号灯 @ 新京报

4.2.3 北京 CBD 二期（西南区）交通优化工程 [9]

时间：2021 年

地点：朝阳区 CBD 二期（西南区）

举措：此次治理启动了“入栏结算 + 平台动态调度 + 实时预警派单”的共享单车监管方式。CBD 地区总共将设置 349 个电子围栏停放区，全域共享单车控制在 1.5 万辆以内，入栏结算，围栏外禁停，缓解共享单车侵占步道空间的现象，净化步道空间环境。



图 4-5：共享单车电子围栏停放区 @ 北京商务中心区管理委员会

4.2.4 朝阳门桥慢行系统优化提升改造工程 [10]

时间：2023 年 1 月

地点：朝阳门桥

举措：北京交管部门 1 月 4 日晚上启动朝阳门桥慢行系统优化提升改造工程。原环岛里部分点位非机动车没有施划引导线，通行空间不足，缺少等待区和信号灯。一是均衡机非资源配比，取消一条机动车道，增加非机动车道的空间达到 6 米以上；二是重新施划引导线，减少环岛车辆的交织冲突，规范通行秩序。此外还新建行人和非机动车信号灯。结合交通流量特点，优化调整桥区的信号配时。

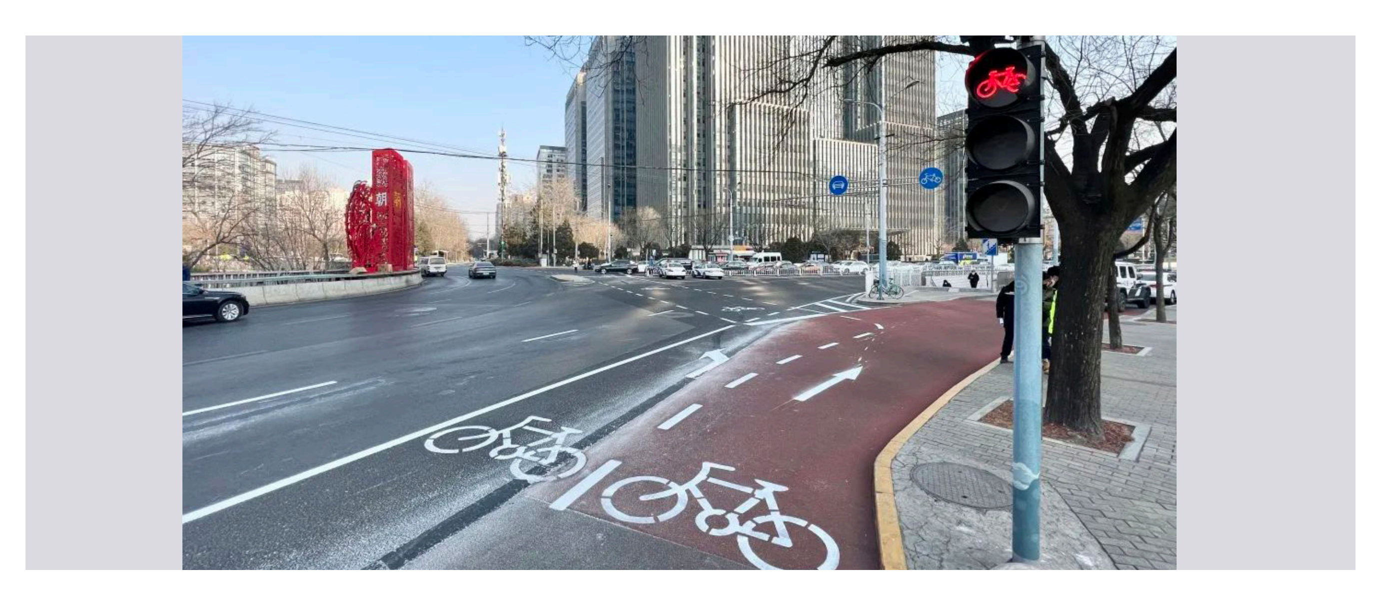


图 4-6：重新施划非机动车引导线 @ 北京交通广播

4.3 北京自行车骑行环境建设政策建议

结合本研究各风险因素识别结果（表 3-2）与对应改造提升难度，绘制如下骑行环境建设优先级坐标系（图 4-7）：以改造难度为纵坐标、风险因素分布的普遍程度为横坐标，并分别按照三个程度建立优先级矩阵，普遍程度越高、改造难度越低则优先级越高。此外，还通过每个风险因素所对应的圆形半径直观反映其风险权重。可见，“非自行车的交通主体存在”在所有风险因素中的改造优先级最高；“路边停车”虽然现状较为严重，但改造提升难度也较高，因而可以考虑分阶段分片区逐步进行优化；同理，针对“不戴头盔”可考虑通过逐步推行交通骑行规范守则的方式来改善现况；针对“自行车道被阻挡”，需要加强交通监管与治理，及时督促并清理杂乱设施；针对“逆行”，一方面需要提高骑行者的安全意识，另一方面也需要增加过街设施密度；针对“大型车辆的存在”，需要对出现频率较高的车辆类型，如货车、市政车辆等进行管制，避免在高峰时段出行；针对“自行车道种类”，结合道路宽度条件，优先改善无自行车道的道路；针对“人行道与自行车道无高差”，需要对问题路段加强区分自行车道与人行道；针对“恶劣的路况”，结合问题严重程度改善道路平整性；针对“自行车道宽度”“出入口的存在”与“公交车站的存在”这三类因素，其分布的普遍程度较低且改造难度较高，因而可以考虑优先对其他风险因素进行改善。

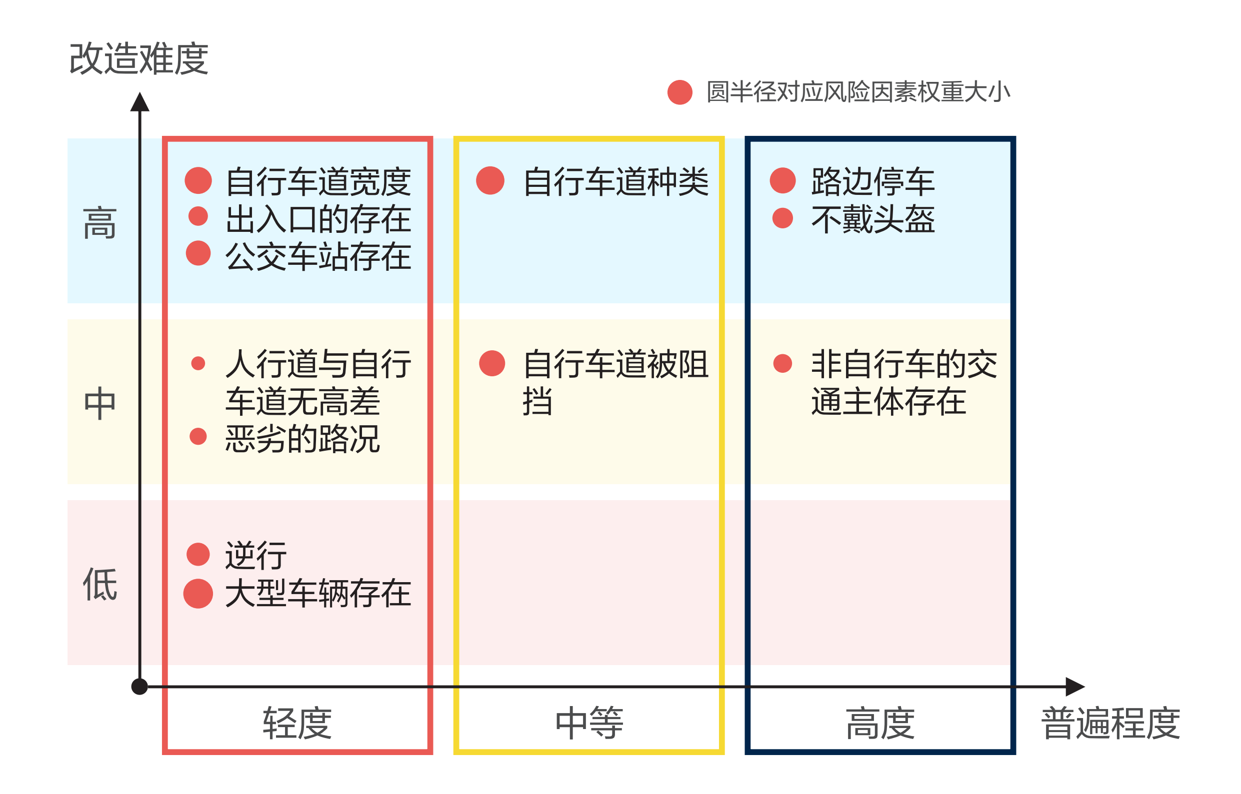


图 4-7：北京四环内骑行环境建设优先级示意图

展望未来，研究团队认为在现有北京慢行交通规划建设的系列政策的指导下，围绕骑行环境安全性提高还可以在以下五方面开展探索：

一、针对使用不同交通工具的骑行主体，如自行车、电动自行车、三轮车等，制定相应的骑行规范，在明确速度上限的基础上，根据其交通工具自身的风险水平调整管控力度，避免高速骑行带来的安全隐患。对于特定从业者，如外卖员、快递配送员等，除了与企业合作制定骑行规范外，还可设置专门的培训课程，确保其熟悉并遵守交通规则；

二、针对不同城市片区自行车骑行环境风险现状，因地制宜出台相应规划导则以应对严重程度不一的各类具体问题。例如，二环内主要解决骑行环境中自行车道被阻挡与路面状况等问题，居住区主要解决路边停车等问题；

三、针对不同等级道路，结合各类风险因素的严重程度，制定相应道路安全性优化导则。例如，针对环路辅路与主干路，需重点关注大型车辆的存在；针对无自行车道的道路，需注意行人跨道等现象；

四、通过公共宣传与教育，加强骑行者的安全意识。尤其以事故高发路段的具体案例作为教育素材，增强骑行者对不同情形骑行风险的认知能力，进一步有效预防非机动车交通事故。除了公共宣传与教育外，还可以与学校合作，将骑行安全教育纳入学校的安全教育课程中。利用新媒体平台，如短视频、社交媒体等，进行有趣的骑行安全宣传，吸引更多年轻人关注；

五、大数据驱动下，加强市域非机动车交通信息协同水平。可同相关科技公司合作，搭建面向公众的骑行安全信息平台，便于骑行者自主上报具体地点的安全性问题。还可以引入社交功能，让骑行者之间可以互相分享骑行经验和路线建议。此外，还可综合收集社交平台、事故处理等信息渠道非机动车交通的实时状况，动态管控、实时调整交通流向，提高骑行效率和安全性。

结语

本研究聚焦北京市四环内骑行环境的现状和近年来在此方面的改善措施，通过 12 项风险因素对自采集的 2963.4km 道路共 116107 张骑行图像进行识别评估。我们发现，在这 12 项风险因素中，不戴头盔、路边停车与非自行车的交通主体存在情况较为严重；公交车站的存在、出入口的存在与大型车辆的存在等风险因素情况稍好。我们还梳理了北京市近年来慢行交通相关政策与案例，发现有关部门已针对具体风险因素开展了有效改善提升工作。在此基础上，结合风险因素识别结果与改造难易程度，我们对未来北京市骑行环境建设提供了建议与参考。在客观的骑行环境基础设施改善提升以外，本研究还认为需要从宣传层面加强骑行者主观的安全出行意识，从根源上杜绝具有潜在风险的骑行行为，为自己的骑行安全负责。

附件I：道路信息采集单元与采集日程

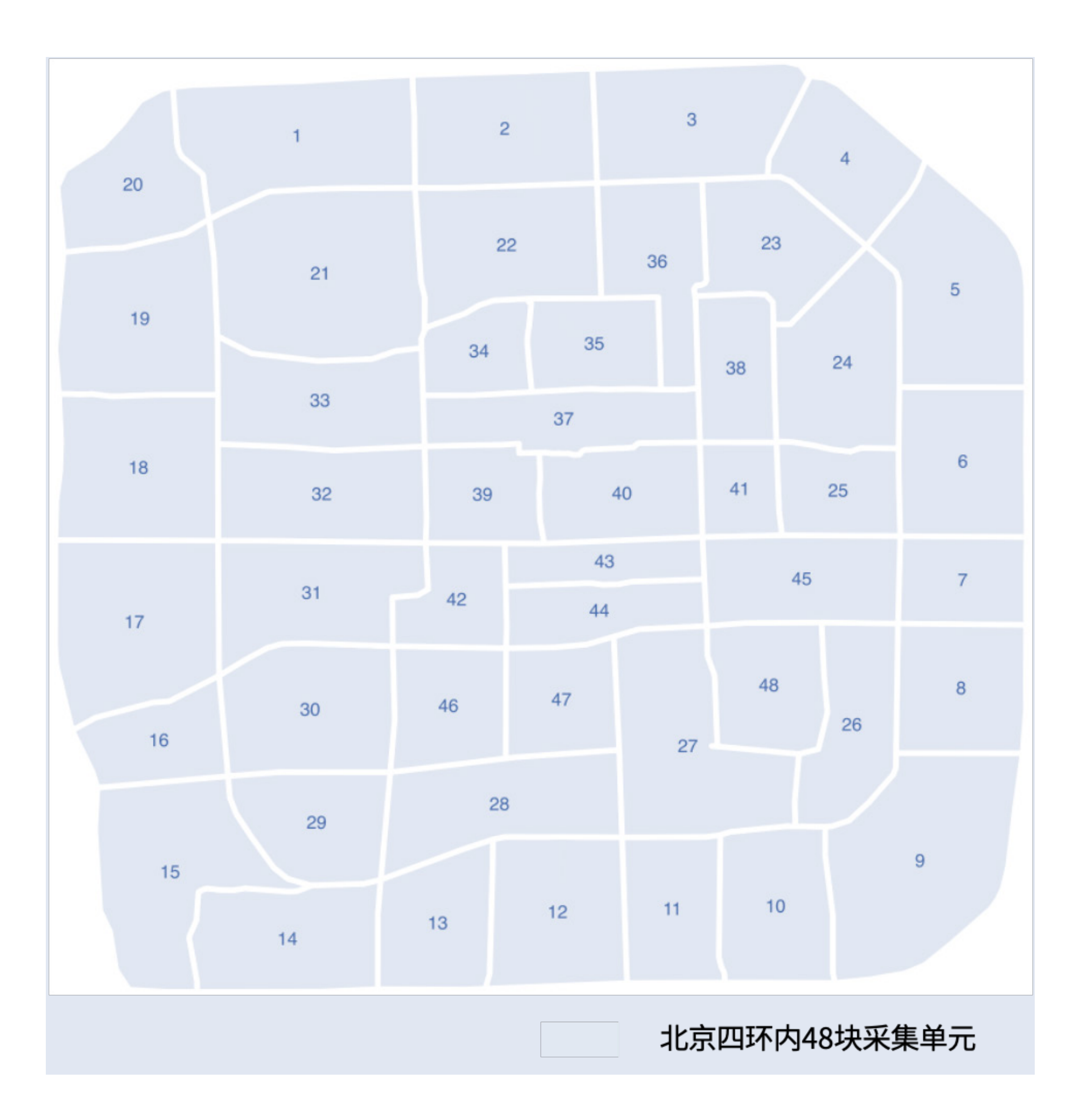


图 1：北京四环内 48 块采集单元

表 1：采集日程与对应采集单元序号						
周一	周二	周三	周四	周五	周六	周日
2.13	2.14	2.15	2.16	2.17	2.18	2.19
	1	2	20	21	31	
2.20	2.21	2.22	2.23	2.24	2.25	2.26
		42	22	19	17	3
2.27	2.28	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
			33、29	18	30	46
3.6	3.7	3.8	3.9	3.10	3.11	3.12
16	47		32、13	36	23、14	4
3.13	3.14	3.15	3.16	3.17	3.18	3.19
10	28		5、11	6	24、12	25、15
3.20	3.21	3.22	3.23	3.24	3.25	3.26
8	7		34、27	35	9	26
3.27	3.28	3.29	3.30	3.31	4.1	4.2
	38、43		37、44	39	40、48	41、45

附件2：风险因素检测模型

针对 6 个静态风险因素：采用 YOLOv8 (https://github.com/ultralytics/ultralytics）目标检测模型来识别。

针对动态风险因素：则采用 DeepSort[1]+YOLOv8 目标跟踪模型进行识别。其中，路边停车、非自行车的交通主体存在、在人行道上骑行这三类风险因素还叠加了具体的位置限定来精准识别，否则道路另一侧（非骑行侧）的要素也会被识别而干扰整体结果。

表 2：各风险因素模型识别准确率

类型	风险因素	含义	训练样本类别	训练图片张数	模型准确率（%）
静态要素	自行车道种类	与机动车道完全分离的自行车道	固定隔离带	578	92.3
		用护栏与机动车道分离的自行车道	移动隔离带	27	87.2
		用涂装与机动车道分离的自行车道	自行车道划线	68	84.8
		无专门的自行车道			
	自行车道宽度	自行车道宽度小于1.5m			
	公交车站的存在	存在于自行车道上的非港湾式公交车站	公交站	107	98.3
	出入口的存在	停车场和建筑物入口	出入口（车库出入门、人行通道门、道闸）	365	96.4
	恶劣的路况	自行车道上的积水、坑洼、裂缝	恶劣路况（坑洼、积水、裂缝）	390	97.2
	人行道与自行车道无高差	人行道与自行车道高度相同	道路等高	535	85.1
动态要素	路边停车	路边停放的车辆	路边停车	386	88.6
	自行车道被阻挡	阻塞自行车道的建筑设施和非机动车	阻挡物	163	86.1
	大型车辆的存在	自行车道或邻近道路上存在的大型车辆	大型车辆（卡车、市政车辆）	63	95.1
	非自行车的交通主体存在	出现在自行车道上的机动车、行人、宠物等	行人汽车跨道	89	82.9
	逆行	逆行的骑行者	逆行（头部）	62	86.1
	不戴头盔	不戴头盔的骑行者	戴头盔（头部）	63	83.2

参考文献

[1] Wojke N, Bewley A, Paulus D. Simple online and realtime tracking with a deep association metric[C]//2017 IEEE international conference on image processing (ICIP). IEEE, 2017: 3645-3649.

[2] Grillo A, Krylov V A, Moser G, et al. Road extraction and road width estimation via fusion of aerial optical imagery, geospatial data, and street-level images[C]//2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS. IEEE, 2021: 2413-2416.

[3] 新京报 . 北京三环路、四环路慢行系统将升级改造 [EB/OL]. 2021.10.11[2023.09.08]. https://sdxw.iqilu.com/share/YS0yMS04Mzg3MTI3.html

[4] 北京日报客户端 . 2023 年北京市城市慢行系统品质提升行动工作方案发布实施 [EB/OL]. 2023.05.31[2023.09.08]. https://baijiahao.baidu.com/s?id=1767373822583746081&wfr=spider&for=pc

[5] 记摄人间 . 公交车进站不再影响骑行，北京二环辅路改造公交港湾完善警示标志 [EB/OL]. 2021.05.19[2023.09.08]. https://baijiahao.baidu.com/s?id=1700146258456614618&wfr=spider&for=pc

[6] 南国今报 . 北京二环路上的自行车道“悄悄”变宽了 [EB/OL]. 2021.05.15[2023.09.08]. https://new.qq.com/rain/a/20210515A08Y7D00

[7] 北京日报客户端 . 在二环路骑车真痛快！记者骑行 35 公里体验慢行系统 [EB/OL]. 2022.09.20[2023.09.08]. https://news.bjd.com.cn/2022/09/20/10163484.shtml

[8] 新京报 . 五道口路口完成交通改造，信号灯增设“四面全绿”时段 [EB/OL]. 2021.12.01[2023.09.08]. https://baijiahao.baidu.com/s?id=1717943884731934141&wfr=spider&for=pc

[9] 北京青年报 . CBD 二期交通优化完工 改造 27 公里慢行系统 [EB/OL]. 2021.05.27[2023.09.08]. http://bj.people.com.cn/n2/2021/0527/c82839-34747018.html

[10] 1039 调查团 . 北京今年首个慢行系统改造开工！将解决这个桥区人车交织安全隐患→ [EB/OL]. 2023.01.05[2023.10.13]. https://mp.weixin.qq.com/s/0oihqHvHDC6Hm_rZblUfFA



NRDC北京代表处

地址：中国北京市朝阳区东三环北路38号泰康金融大厦1706
邮编：100026
电话：+86 (10) 5927-0688